

**PENGGUNAAN TEKNIK MIKROPENURASAN ALIRAN SILANG DALAM
PENGELUARAN AIR SUNTIKAN.**

oleh :

**ISSHAM BIN ISMAIL
JABATAN KEJURUTERAAN PETROLEUM,
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA,
KUALA LUMPUR.**

dan

**RAMLAN A. AZIZ
UNIT PENYELIDIKAN DAN PERUNDINGAN,
UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA,
KUALA LUMPUR.**

ABSTRAK

Pembanjiran merupakan satu fenomena yang penting di dalam mengoptimumkan pengeluaran sesebuah telaga minyak. Penggunaan air suntikan yang bersih, yakni berpepejal terampai 10 hingga 100 kali kurang dari apa yang terkandung didalam air paip biasa sangatlah penting kerana, di samping dapat menyelenggara susuk suntikan serta meningkatkan lagi kecekapan sapu, ianya juga boleh menjimatkan perbelanjaan operasi yang mahal seperti mengurangkan kerja lanjutan dan juga penggunaan tenaga pam yang berlebihan.

Menerusi teknik mikropenurasan aliran silang yang menggunakan prinsip aliran cecair pada arah selari terhadap permukaan tetiub penuras tersebut, dipercayai bukan sahaja dapat menghasilkan mutu air yang dikehendaki misalnya penyingkiran 95 hingga 98 peratus pepejal dan tripton terampai yang berukuran lebih besar dari 2 mikron, malah akan dapat juga memisahkan fitoplankton, zooplankton, cyanophyceae dan sebagainya dari sistem air suntikan tersebut.

Kajian kepekaan mengenai kesan-kesan kadar alir air laut dan juga kesan-kesan kesusutan tekanan terhadap prestasi teknik mikropenurasan aliran silang menerusi penggunaan tetiub tunggal telah menghasilkan fluks turasan yang berkadar terus terhadap kedua-dua pembolehubah di atas.

Turasan yang diperolehi dari teknik tersebut juga sungguh menggalakan sekali dari segi mutunya dan ini telah terbukti menerusi bacaan-bacaan NTU yang rendah dan juga perbandingan di antara kek-kek turas yang terbentuk.

PENGENALAN

Penggunaan minyak yang terus meningkat dari semasa ke semasa telah menggalakkan lagi penerokaan dan pengeluaran hidrokarbon bagi memenuhi permintaan dunia. Namun begitu, pengeluaran minyak yang berterusan akan mengakibatkan tekanan di dalam reserbor jatuh dan oleh yang demikian, penyelenggaraan tekanan perlulah diberi perhatian yang sewajarnya. Suntikan air merupakan satu kaedah penyelenggaraan tekanan yang paling popular di lapangan memandangkan air mempunyai ketumpatan yang tinggi, hampir tak termampat dan juga berciri sesaran yang agak lengkap, di samping kos perbelanjaannya yang agak murah. Air suntikan yang bebas dari sebarang hidupan seni atau partikel terampai perlu dititikberatkan bagi mengelak masalah penyumbatan batuan reserbor. Oleh itu, teknik mikropenurasan aliran silang yang masih berada di peringkat awal dari segi penggunaannya telah digunakan bagi tujuan pengasingan air suntikan tersebut. Rawatan lain seperti campuran kimia untuk membunuh kuman, penyahoksigenan, campuran pembantut kakisan dan pembantut kerak perlu diambilkira sebelum proses penyuntikan dilaksanakan.

KEPERLUAN MUTU AIR

Penggunaan air laut sebagai sumber air suntikan begitu popular di Malaysia kerana pelantar-pelantar minyaknya yang terletak di luarpantai. Sungguhpun demikian, beberapa masalah yang sering timbul akibat dari penggunaan air laut perlu diberi perhatian yang sewajarnya dan ini termasuklah:-

- o Apabila tepu dengan oksigen ianya akan menjadi pengkakis yang kuat.
- o Kotoran yang mesti dihindar dari sistem pengambilan.
- o Mendakan kalsium karbonat yang kerap berlaku di dalam telaga suntikan dan juga penukar-haba.
- o Ianya mengandungi kepekatan sulfat yang tinggi. Mendakan kalsium sulfat tidak mungkin ujud di sistem suntikan, tetapi jika air formasi mengandungi barium dan kalsium yang mencukupi, maka mendakan barium sulfat ataupun kalsium sulfat akan terjadi di dalam telaga pengeluaran yakni selepas dilakukan suntikan air.

Selain dari masalah-masalah di atas, kehadiran hidupan seni seperti Diatoms, Dinoflagellates dan Copepods¹, dan juga partikel terampai turut juga memberi masalah penyumbatan yang mana jumlahnya bergantung pada tempat dan kedalaman. Secara umumnya, jumlah air yang perlu disuntik bagi menyelenggara tekanan reserbor adalah sama ataupun lebih besar dari kadar pengeluaran minyak, yang mana menurut M. S. Abdel Ghani et al,² kadangkala ianya boleh mencapai hingga 2600 m³/jam.

Mengenai hidupan seni, menurut William et al,³ kehadiran bakteria hidup tidak akan menyebabkan penyumbatan yang teruk pada formasi. Tetapi Raleigh dan Flock⁴ berpendapat bahawa bakteria mati yang bersaiz seragam iaitu Bacillus Subtilis yang merupakan mikroorganisma yang biasa terdapat di dalam air, udara dan tanah adalah di antara bakteria-bakteria yang kerap menyebabkan batuan reserbor tersumbat.

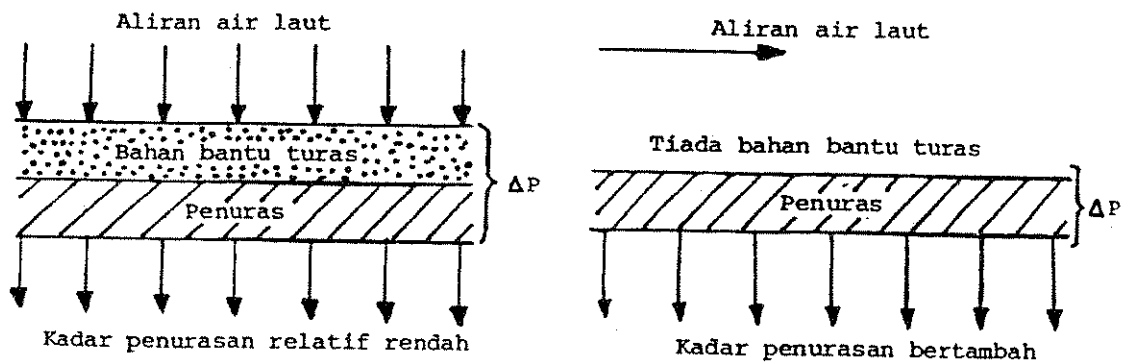
Kecenderungan batuan reserbor untuk tersumbat selalunya bergantung ke atas saiz rongga batuan berkenaan, saiz dan kuantiti partikel terampai di dalam air suntikan, keserasian air suntikan dengan air formasi, penghijrahan lempung dan sebagainya. Menurut Harvey dan Bladgen,⁵ untuk mengelakkan batuan reserbor dari tersumbat biasanya peratus penyingkiran partikel terampai yang diperlukan adalah seperti berikut:-

Ketertelapan formasi	Penyingkiran	Zarah dari
Formasi terbuka	90 %	5 mikron
Ketertelapan sederhana ke rendah	95 - 98 %	2 mikron
Ketertelapan sangat rendah	95 - 98 %	1 mikron

Ini bererti, kandungan partikel di dalam kebanyakan air suntikan adalah di sekitar 10 hingga 100 kali kurang daripada kebanyakan air paip, yang mana secara langsung telah memberi kita satu gambaran yang jelas tentang perlunya satu sistem penurasan yang berkesan di samping rawatan lain seperti penyahoksigenan, campuran kimia untuk membunuh kuman, pembantut kakisan dan pembantut kerak.

PRINSIP MIKROPENURASAN ALIRAN SILANG

Prinsip asas penurasan lazim yang merupakan operasi kelompok melibatkan aliran bendalir "Penghujung mati" ke dalam media penuras dan selalunya partikel-partikel akan berkumpul dan terperangkap di permukaan penuras dan seterusnya menjejaskan jumlah turasan yang diperolehi. Penggunaan teknik mikropenurasan aliran silang yang melibatkan kadar pusungan bendalir yang tinggi pada arah tangen ataupun selari terhadap penuras akan mengurangkan penghimpunan partikel-partikel pada permukaan penuras dan seterusnya masalah yang seringkali dihadapi oleh kaedah penurasan lazim telah dapat diatasi, ataupun dengan ertikata lain jumlah turasan yang diperolehi lebih lumayan. Gambarajah 1.0 menunjukkan perihai kedua-dua teknik penurasan di atas.

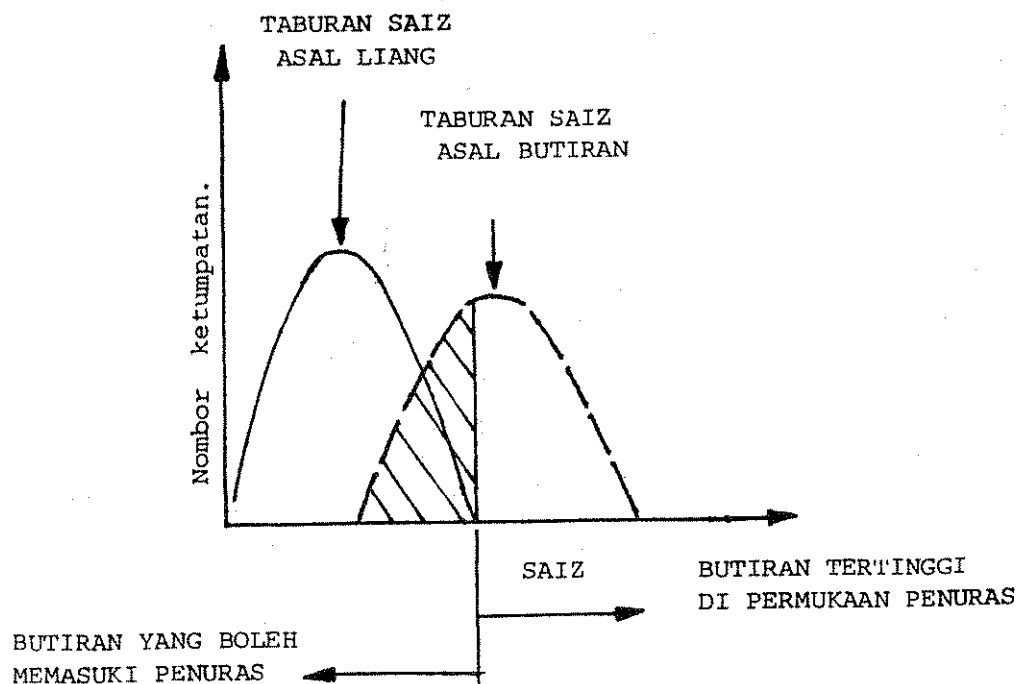


(a) Penurasan lazim. (b) Susunan penurasan aliran silang bagi mengurangkan himpunan partikel di permukaan penuras.

Gambarajah 1.0 : Perbandingan antara kaedah lazim dan aliran silang

Secara umumnya, pengumpulan partikel di permukaan penuras akan menghasilkan rintangan utama terhadap penurasan. Menurut Henry,⁶ sungguhpun pergerakan bendalir pada arah tangen mengurangkan pengumpulan partikel di permukaan penuras, tetapi tidak dapat menyingkirnya secara keseluruhan. Dalam kebanyakan hal, satu lapisan partikel tetap akan terbentuk yang mana ianya bergantung kepada keadaan semulajadi penuras dan juga jumlah partikel terampai di dalam sumber air tersebut.

Kenyataan di atas telah diperkuatkan lagi oleh pendapat Sundram et al⁷ yang mengatakan bahawa partikel yang kecil jika dibandingkan dengan liang terbesar pada tetiub penuras, maka partikel tersebut dapat memasuki matriks dinding. Manakala partikel yang bersaiz lebih besar akan tertahan dari memasuki liang-liang yang terdapat pada dinding tetiub. Gambarajah 2.0 menunjukkan taburan saiz partikel di dalam suapan yang dilukis pada skala yang sama seperti taburan saiz liang tetiub penuras. Kawasan yang berlorek menandakan di mana zarah adalah bersaiz lebih kecil dari saiz liang terbesar, dan oleh yang demikian ianya dapat memasuki matriks dinding. Partikel ini secara tidak langsung akan terperangkap di dalam dinding tetiub memandangkan liang-liang pada tetiub berkeadaan tidak sekata dan juga berliku-liku pada asalnya. Oleh itu bila proses penurasan berterusan, struktur liang tetiub dan juga ketertelapannya akan mengalami perubahan akibat dari penyumbatan partikel-partikel tersebut. Walau bagaimanapun, partikel-partikel yang lain tidak akan terdaya untuk masuk ke dalam matriks tetiub kerana kekurasan dinamik yang telah terbentuk akibat dari pengutuban partikel yang mana fenomena ini secara tidak langsung akan merendahkan kadar penurasan.



Gambarajah 2.0 : Skema bagi fenomena penuras tersumbat

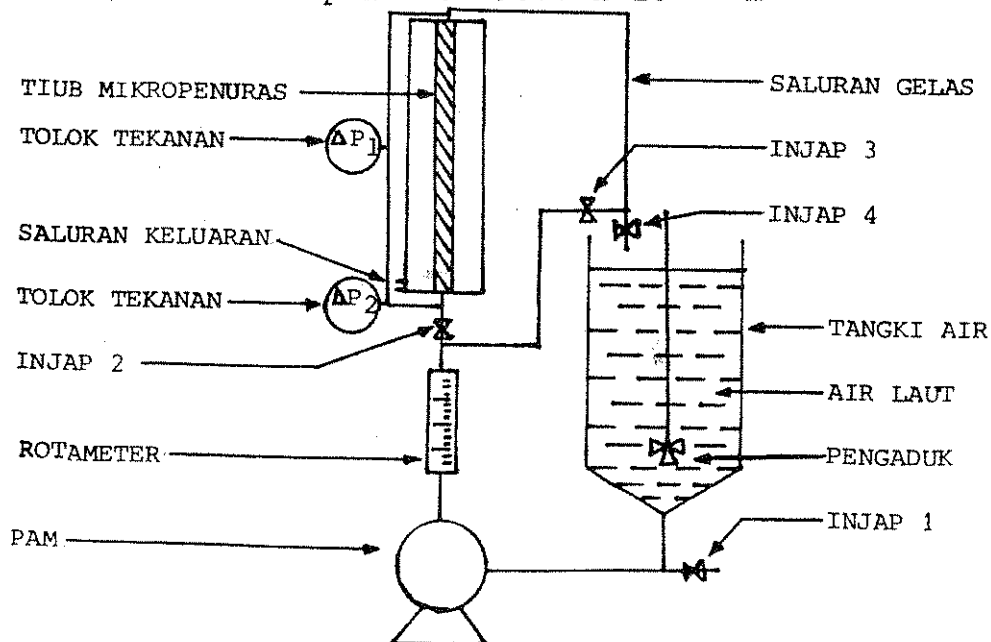
SISTEM MIKROPENURASAN ALIRAN SILANG

Rekabentuk sistem mikropenurasan aliran silang untuk penyelidikan ini secara umumnya ditunjukkan di dalam gambarajah 3.0 yang mana ianya mengandungi sebuah tangki air, pengaduk, injap, rotameter, manometer dan tetiub mikropenurasan aliran silang.

Tetiub mikropenurasan aliran silang ini merupakan peralatan yang terpenting dalam sistem tersebut dan berfungsi sebagai penuras. Ia telah dibekalkan oleh syarikat Porvair Ltd., England dan diperbuat dari polietilina berketumpatan tinggi menerusi proses penyinteran.

Secara amnya, tetiub yang telah digunakan itu mempunyai ciri-ciri seperti berikut:-

- o Garispusat luar : 26.0 mm
- o Ketebalan : 3.2 mm
- o Panjang : 0.5 m
- o Saiz liang min : 60.0 mikron
- o Keliangan : 46.5%
- o Pekali ketertelapan : $9.77 \times 10^{-13} \text{ m}^2$



Gambarajah 3.0 : Sistem mikropenurasan aliran silang

CARAKERJA PENYELIDIKAN

Kajian kepekaan yang mencakupi dua parameter yang berlainan telah dilaksanakan di dalam penyelidikan ini untuk menentukan keberkesanan proses penurasan tersebut

Kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub tetap, manakala kadar alir air laut diubahsuaikan. Berpandukan pada gambarajah 3.0, untuk tujuan penurasan injap 1 dan 3 ditutup manakala injap 2 dan 4 dibuka. Seterusnya bagi mendapat halaju yang berlainan, injap 2 diubahsuaikan dan ini diikuti oleh pengubahsuaian terhadap injap 4 supaya kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub tetap sama seperti nilai asal yang telahpun ditetapkan pada awalnya.

Kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub berubah manakala kadar alir air laut ditetapkan. Untuk tujuan penurasan, langkah-langkah yang sama seperti di atas telah dilaksanakan iaitu injap 1 dan 3 ditutup, manakala injap 2 dan 4 dibuka. Tetapi untuk mendapatkan kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub yang berlainan, injap 4 perlu diubahsuaikan manakala injap 2 ditetapkan supaya halaju bendalir sama seperti sebelumnya.

Proses basuh balik. Setelah injap 1 dibuka, tangki air dibersihkan dengan menggunakan air penyahionan bagi menyingkirkan partikel-partikel terampai yang mungkin masih terlekat pada dinding tangki air. Seterusnya setelah injap 1 ditutup kembali, tangki air dipenuhi dengan sejumlah isipadu air penyahionan dan ini diikuti dengan penutupan injap 2 dan 4, manakala injap 3 dibuka. Air penyahionan itu digunakan untuk menyingkir partikel-partikel yang menyumbat liang-liang penuras serta lapisan partikel dinamik yang terbentuk, sebelum dialirkan keluar melalui saluran yang digunakan bagi mencatat kesusutan tekanan ΔP_2 .

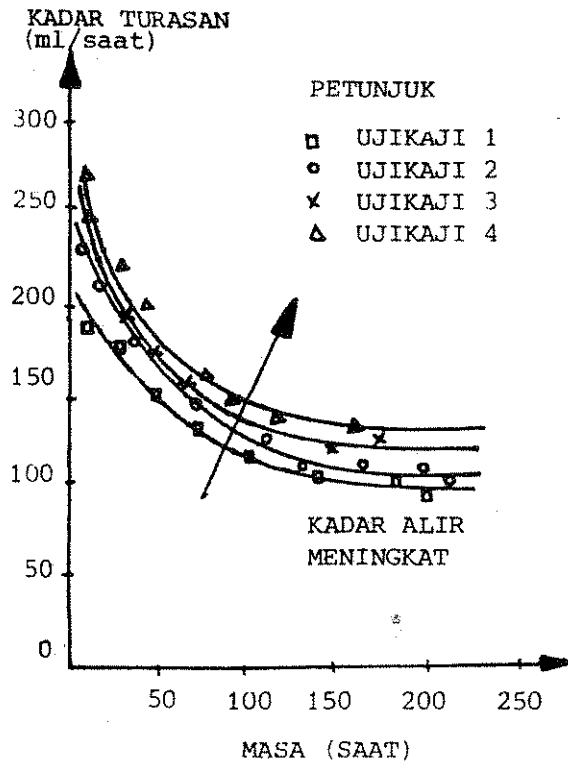
HASIL DAN PERBINCANGAN

Hasil dari kajian kepekaan yang telah dilaksanakan di dalam penyelidikan tersebut, satu gambaran yang jelas telah diperolehi dalam menentukan parameter mana yang lebih mempengaruhi prestasi kadar penurasan berkenaan.

Kesan kadar alir air laut terhadap prestasi kadar penurasan. Apabila kadar alir air laut ditingkatkan ke nilai yang lebih tinggi manakala kesusutan tekanan (ΔP_2) merentasi dinding tetiub ditetapkan, maka secara langsung hasil turasan yang diperolehi juga akan bertambah pada satu masa yang sama. Dari segi kadar turasan pula, sungguhpun ianya berkadar-terus terhadap kadar alir air laut pada awalnya, namun ia tetap akan mencapai satu keadaan yang mantap pada satu masa tertentu apabila pembentukan lapisan partikel dinamik pada permukaan penuras mencapai takat keseimbangan. Takat keseimbangan tersebut berlaku apabila kadar partikel yang membentuk lapisan dinamik itu sama dengan jumlah partikel yang kembali semula ke dalam aliran pukal akibat dari kesan ricih aliran tersebut. Selain dari takat keseimbangan, gambarajah 4.0 juga menunjukkan apabila kadar alir meningkat, secara tidak langsung akan ujud satu daya ricih yang lebih besar ke atas lapisan partikel yang terbentuk di permukaan penuras. Hasilnya ketebalan lapisan partikel tersebut akan berkurangan dan ini akan mengurangkan daya rintangan terhadap penurasan.

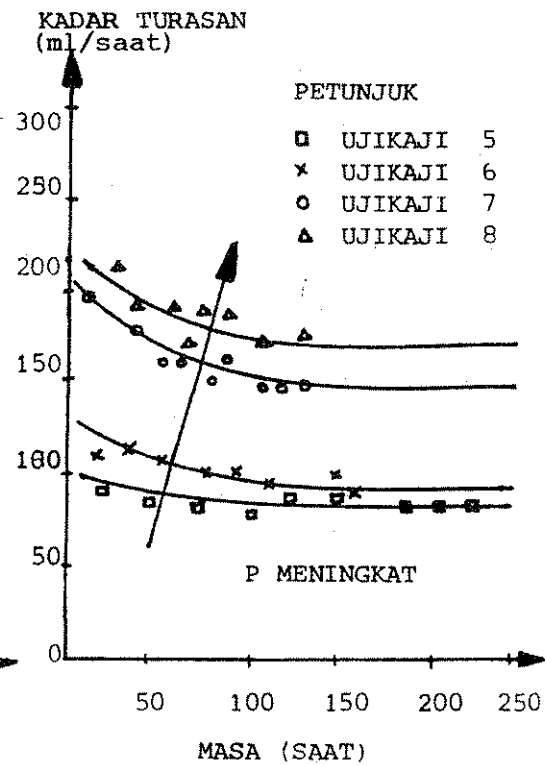
Kesan kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub penuras terhadap prestasi kadar penurasan. Dalam hal ini, kadar penurasan mantap meningkat apabila nilai kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub diperbesarkan manakala kadar alir air laut ditetapkan. Fenomena ini terhasil apabila aliran air laut dkecilkan pada injap keluaran, maka satu tekanan balik telah ujud dan ianya telah menghasilkan satu tenaga yang telah mendorong aliran air laut merentasi liang-liang tetiub penuras dengan lebih berkesan lagi. Sungguhpun dengan bertambah besarnya kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub penuras, ini bererti lapisan partikel yang terbentuk akan bertambah tebal dan lebih termampat, namun kesan ini boleh dikatakan hampir tidak mempengaruhi langsung kadar penurasan seperti yang ditunjukkan pada gambarajah 5.0.

Kesan kadar alir air laut dan kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub terhadap fluks turasan. Gambarajah 6.0 dan 7.0 mempamerkan hasil fluks turasan bagi kedua-dua kes di atas di mana kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub penuras dan kadar alir didapati berkadar-terus dengan parameter fluks turasan. Keputusan kadar air tersebut menyerupai hasil kerja Dalheimer,⁸ manakala keputusan kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub penuras pula menyerupai hasil kerja Porter.⁹



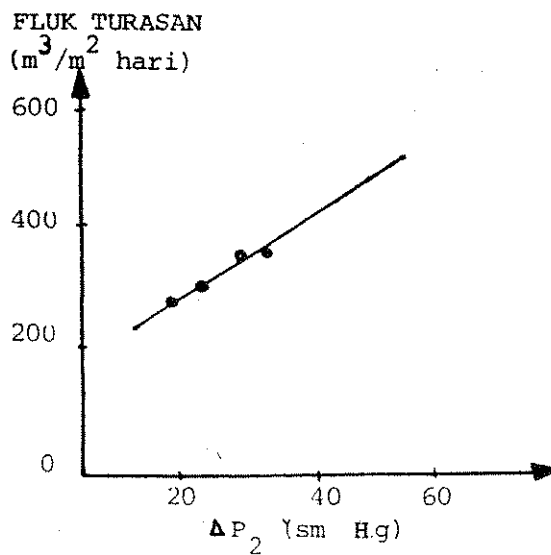
GAMBARAJAH 4.0

Kadar turasan terhadap masa.



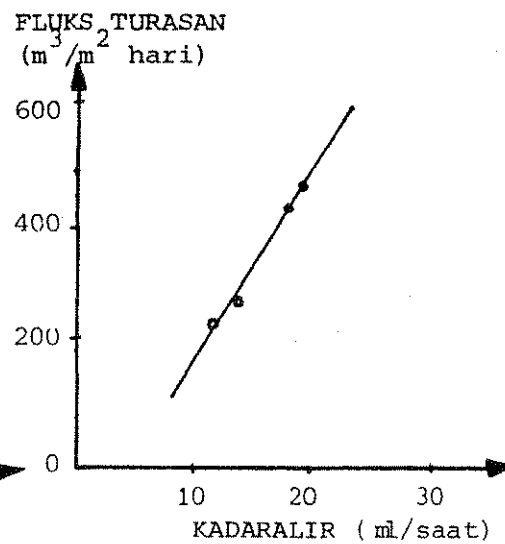
GAMBARAJAH 5.0

Kadar turasan terhadap masa.



GAMBARAJAH 6.0

Fluks turasan terhadap ΔP_2 .



GAMBARAJAH 7.0

Fluks turasan terhadap kadar alir.

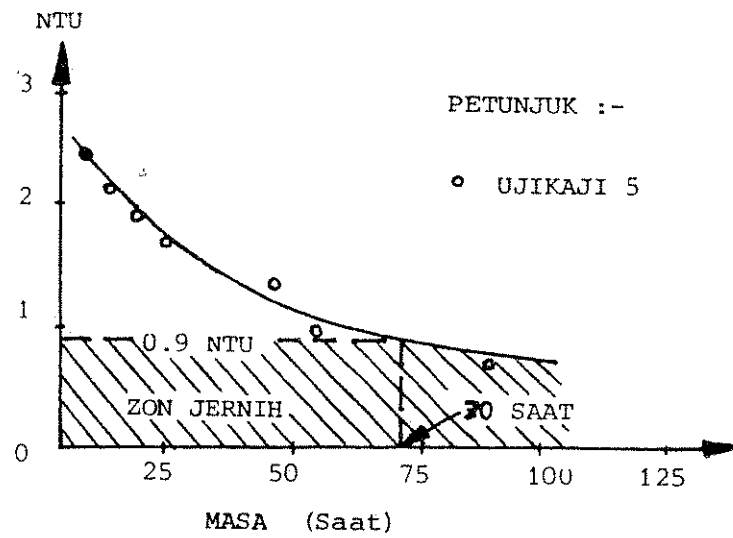
Analisa jangkakeruh. Gambarajah 8.0 menunjukkan kekeruhan sampel turasan di mana kepekatan zarah semakin berkurangan dengan masa. Hal ini berlaku kerana semasa proses penurasan berlanjutan, lapisan partikel telah terbentuk akibat dari pengutuban partikel lalu ianya bertindak sebagai penuras sekunder, dalam mana ianya berkeupayaan untuk memerangkap partikel-partikel yang bersaiz jauh lebih kecil dari ukuran liang-liang yang terdapat pada permukaan tetiub penuras.

Perbandingan halaju penurasan mantap ujikaji terhadap halaju penurasan mantap teori. Jadual 1.0 membentangkan halaju penurasan mantap teori yang diperolehi menerusi persamaan Zhevnovatyi.¹⁰ Perbezaan yang besar telah terserlah di antara halaju penurasan mantap teori, Uot dan halaju penurasan mantap ujikaji, Uop yang mana perbezaannya adalah dalam lingkungan 1200 kali. Punca yang menyebabkan perbezaan yang amat ketara ini disebabkan oleh persamaan yang telah diterbitkan oleh Zhevnovatyi itu, adalah berasaskan pada hasil-hasil kajian yang telah dilaksanakan olehnya, yang mana sampel-sampel yang digunakan mengandungi kepekatan partikel yang tinggi iaitu di antara 50% hingga 60%, berbanding dengan kandungan partikel air laut yang hanya di sekitaran 1% sahaja. Oleh yang demikian, persamaan yang berasaskan ciri-ciri air laut perlulah diterbitkan terlebih dahulu sebelum pengiraan halaju penurasan mantap teori dilakukan. Persamaan Zhevnovatyi yang telah digunakan itu adalah seperti berikut:-

$$U_{ot} = 0.4576 \times 10^{-6} (d/l)^{0.412} \times Eu^{0.415} \times Re^{0.879} \times \frac{(K_o \times \Delta P_2)^{-0.4}}{\mu_l \times h}$$

dimana

- d, garispusat dalam tetiub penuras
- l, panjang tetiub penuras
- Eu, kumpulan Euler
- Re, nombor Reynold
- Ko, pekali ketertelapan sejurus selepas ujikaji
- ΔP_2 , kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub penuras
- h, ketebalan tetiub penuras
- μ_l , kelikatan turasan



GAMBARAJAH 8.0 :
NTU turasan terhadap masa.

Jadual 1.0
Halaju penurasan mantap

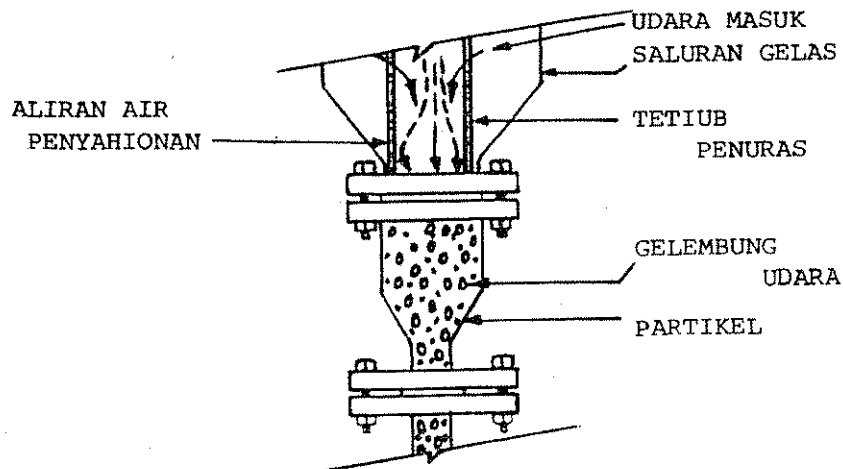
No. Ujikaji	Uop (sm/saat)	Uot (X 10 ⁻⁴ sm/saat)
1	0.42	2.34
2	0.41	7.85
3	0.37	3.17
4	0.36	4.65
5	0.56	3.20
6	0.49	3.15
7	0.30	3.21
8	0.27	3.21

Kesan proses basuh balik. Jadual 2.0 menunjukkan nilai pekali ketertelapan tetiub pada keadaan asal, Ko^b selepas proses penurasan, Ko dan selepas proses basuh balik, Ko^* . Dalam hal ini, selepas proses penurasan dilakukan, nilai pekali ketertelapan tetiub telah turun ke satu nilai yang lebih rendah berbanding dengan keadaan asal. Walau bagaimanapun, setelah dilakukan proses basuh balik dengan menggunakan air penyahionan didapati nilai pekali ketertelapan telah meningkat kembali ke satu nilai yang lebih tinggi tetapi rendah sedikit jika dibandingkan dengan nilai pekali ketertelapan asal. Hal ini disebabkan kegagalan di dalam menyingkir partikel-partikel halus yang telahpun terperangkap di dalam liang-liang berkenaan secara keseluruhan.

Satu perkembangan menarik telah terjadi semasa proses basuh balik iaitu dengan terbentuknya gelembung-gelembung udara berhampiran saluran keluaran, satu fenomena yang telah disedari oleh Ramlan¹¹ di dalam penyelidikannya. Apabila proses basuh balik dilakukan, maka satu perbezaan tekanan telah wujud di mana tekanan di dalam tetiub penuras adalah lebih rendah dari bahagian sebelah luar. Hasilnya udara telah masuk ke dalam tetiub menerusi liang-liang tetiub penuras, dan hal ini secara tidak langsung telah membantu proses penyingkiran partikel dari liang-liang tetiub penuras dengan lebih berkesan lagi. Konsep basuh balik itu ditunjukkan pada gambarajah 9.0. Ini bererti proses basuh balik dengan cecair itu boleh dikatakan sebagai proses serampang dua mata, di mana pembersihan liang-liang bukan sahaja menerusi proses basuh balik tetapi telah diiringi juga proses pancuran balik oleh udara.

Jadual 2
Pekali ketertelapan tetiub penuras

No. Ujikaji	K_{ob} ($\times 10^{-13} \text{ m}^2$)	K_o ($\times 10^{-13} \text{ m}^2$)	K_o^* ($\times 10^{-13} \text{ m}^2$)
1	9.77	8.64	9.05
2	9.77	8.60	9.19
3	9.77	8.80	9.35
4	9.77	8.64	9.45
5	9.77	8.66	9.37
6	9.77	8.74	9.64
7	9.77	8.70	8.97
8	9.77	8.70	9.53



GAMBARAJAH 9.0 : Proses basuh balik.

KESIMPULAN

Sepintas lalu, dapat dikatakan bahawa teknik mikropenurasan aliran silang bukan sahaja lebih ekonomi dari penurasan lazim, terutamanya jika kadar alir dan kesusutan tekanan merentasi dinding tetiub ditingkatkan ke satu nilai yang lebih tinggi, malah telah berupaya untuk menghasilkan turasan yang baik dan ini telahpun terbukti dari hasil jangkakeruh serta perbandingan menerusi mata kasar di antara kek turas yang terbentuk pada kertas turas. Air suntikan yang bebas dari partikel terampai akan dapat menyelenggara susuk suntikan, mempertingkatkan lagi kecekapan sapu dan juga menjimatkan perbelanjaan operasi yang mahal seperti mengurangkan penggunaan tenaga pam yang berlebihan dan sebagainya.

Secara keseluruhan, teknik mikropenurasan aliran silang yang mempunyai masa depan yang cerah ini masih lagi di peringkat awalan dan seterusnya, analisis terhadap saiz dan taburan partikel yang masih lagi ujud dalam turasan, menghalang pembentukan kerak tidak larut, mengawal pembiakan hidupan seni dan sebagainya perlu diberi perhatian yang sewajarnya supaya air suntikan yang dihasilkan kelak dapat memenuhi syarat-syarat yang telah digariskan oleh Petronas.

PENGHARGAAN

Penulis ingin mengambil kesempatan di sini untuk merakamkan jutaan terima kasih kepada Unit Penyelidikan dan Perundingan UTM atas sokongan kewangan yang telah diberi untuk menjayakan projek penyelidikan tersebut.

RUJUKAN

1. Edyvean, R.G.J. dan Sneddon, A.D., "The Filtration of Plankton From Seawater, " Filtration & Separation, ms. 184-189, Mei/Jun, 1985.
2. M. S. Abdel Ghani et al, "Cross-flow Membrane Filtration of Seawater, " Filtration & Separation," ms. 105 - 109, Mar/Apr., 1988.
3. William et al, "Some Factors Influencing The Plugging Characteristics of An Oil Well Injection Water", Petroleum Development of Technology, Trans AIME, ms. 52, 1946.
4. Raleigh, V. T. dan Flock, D. L., "A Study of Formation Plugging With Bacteria, "Journal of Petroleum Technology, ms. 201 - 213, Feb. 1965.
5. Harvey, P. J. dan Blagden, H. R., "Practical Experience of Operating Offshore Seawater Injection Facilities, " Filtration & Separation, ms. 246, July/Aug. 1985.
6. Henry, J. D. Jr., "Recent Development In Separation Science," Vol. II, Chemical Rubber Company, Cleveland, Ohio, 1972.
7. Sundaram et al, "An In-depth, Cross-flow Separation Technique For The Removal of Suspended Solids From Waste Water." Industrial Science Eng., ms. 9 - 18, Jan. 1978.
8. Dalheimer, J. A., Thomas, D. G. dan Kraus, K.A., "Process Des. Dev.," Ind. Eng. Chem., 9 (4), 1970.

9. Porter, M. C., A.I. Chem.Eng. Symp. Ser., 68, 120, 1972.
10. Zhevnovaty, A. I., Zhurnal. Prikladnoi, Khimii, 48 (2), ms. 334, Feb. 1973.
11. Ramlan, A. A., "Cross-flow Microfiltration of Solid-Liquid Mixture," Thesis, 1982.